

DESCRIPTION OF INVENTION  
ON A AUTHORS CERTIFICATE

---

Application No. 4167955/24-07

Filing Date: 25.12.1986

Publication Date: 15.02.1989 Bulletin No. 6

Patentee: All-Union Research Institute of Electric Machine Industry and  
Yerevan Polytechnic Institute

Inventors: I.E.Ovchinnikov, Zh.D.Davidyan, V.N.Ryabov, E.A.Krutyakov

References: SU Authors Certificate No. 921006, Class H 02 P 1/50, 1981  
SU Authors Certificate No. 392327, Class H 02 K 29/06, 1968

Title: TRANSDUCER OF ROTOR POSITION IN AN ELECTRIC MACHINE

## ABSTRACT

The present invention relates to electrical engineering and can be used in a rectifier drive, in control systems for electric machines, valve actuators and synchronised synchronous machines. An object of the present invention is extending functional capabilities. A transducer comprises a switch 4 of the machine's drive circuit. Further, the transducer comprises a high-frequency generator 7, a reference voltage source 8, a univibrator 9 and a reset switch 10. Additionally, a band-pass filter 11, current amplitude demodulator 12, controllable 15 comparator 13, comparator 14, trigger 15 and element 16 AND are added in each phase. In each phase of the stator coil, a high frequency measuring current is transmitted, which is amplitude-modulated by machine's polar system. Modulating signals separated from this current are transformed into output 20 signals of the transducer of rotor position. Using a signal induced in the stator's coil at the moment when excitation is energised, the 25 transducer is set in initial position, which corresponds to a starting point of the rotor at the power on time. (4 Figures).

## DESCRIPTION OF THE INVENTION

The present invention relates to electrical engineering and can be used in a rectifier drive, in control systems for electric machines, valve actuators and synchronised synchronous machines.

An object of the present invention is 35 extending functional capabilities of a transducer of rotor position.

FIG. 1 is an electrical structural diagram of the rotor's position detector. FIG. 2 shows timing diagrams of voltages and currents in its units; FIG. 3 - timing diagrams illustrating operation of a transducer of initial position of a rotor. FIG. 4 is electrical schematic diagram of the detector.

As an example of electric machine, a 45 synchronous motor with brushless excitation system will be considered. The machine

comprises a synchronous motor with armature winding 1, inductor winding 2 and asynchronous exciter, which is installed on the machine's shaft (FIG. 1). The rotor winding is connected to a frequency and voltage controlled AC source, such as a thyristor frequency converter. Winding phases and the AC source are marked, respectively, A, B and C. The asynchronous exciter comprises a stator's drive winding, which is connected by switch 4 having normal open-type contacts to the AC source supplied with voltage  $U_b$ , and winding 5 of the rotor armature, which is connected by electric valve (rectifier) 6 installed on the rotor of the machine, to rotor winding 2 of the machine inductor. The rotor position transducer comprises switch 4 in the exciting winding circuit of the exciter, high frequency generator 7, reference voltage source 8, univibrator 9, reset switch 10, and bandwidth filter 11 in each phase, amplitude current 65 demodulator 12, controllable comparator 13, comparator 14, trigger 15 and AND element 16.

The timing diagrams in FIG. 2 illustrate:  
 U<sub>7</sub> - high frequency measuring current supplied to stator coil; sin  $\gamma$  - the angle of rotor position as shown by sinusoidal function of the angle between the rotor pole axis and the plane of equivalent loop of the given phase of the stator coil; I<sub>7</sub> - modulated 75 measuring current in the stator coil circuit; I<sub>12</sub> - rectified modulated current in the amplitude current demodulator; U<sub>12</sub> - output voltage of the amplitude current demodulator; U<sub>13</sub> - output signals of the controllable comparator; U<sub>15</sub> - main output voltage of the trigger, corresponding to the 80 position of the positive polarity pole in the pole pitch zone of the given stator phase.  $\check{U}_{15}$  - the inverting output trigger voltage, corresponding to the position of the negative 85 polarity pole in the pole pitch zone of the given stator phase. The signals U<sub>15</sub> and  $\check{U}_{15}$  are the output signals of the detector.

In FIG 3, the following diagrams are shown:  $U_5$  – exciting voltage supplied to the synchronous machine inductor coil; in FIG 3b - angular position of the rotor, as shown by 5 sinusoidal function of the angle between the rotor's pole axis and the plane of equivalent loop of the current phase of the stator coil; this diagram shows the process of the rotor's acceleration (spin up) from a quiescent state; 10  $U_{BC}$  – a voltage impulse induced in stator's coil on power up the exciting voltage;  $U_{14}$  – output signal of the comparator;  $U_9$  – output signal of the univibrator;  $U_{16}$  – the output signal of AND element supplied to adjusting 15 input of the trigger;  $U_{13}$  – output signals of the controllable comparator, supplied to complementing input of the trigger;  $U_{15}$  – main output voltage of the trigger, corresponding to the position of the positive 20 polarity pole in the pole pitch zone of the given stator's phase. Left part of the diagram corresponds to a rotor starting position, in which the positive polarity pole is to be found in the pole pitch zone of the stator's phase 25 ( $0 < \gamma < \pi$ ), while the right part corresponds to the pole of the negative polarity ( $\pi < \gamma < 2\pi$ ).

In FIG.4, transformer 17 and switch having normally closed contact 18 and normally open contact 19 are shown.

30 The rotor position transducer operates as follows.

A group of elements 7, 8, 11, 12, 13, 15, is 35 arranged to fix the moments when rotor passes a neutral position (or any other preset position) and to generate respective switch signals and output signals. The group of elements 9, 10, 14, 16 forms a detector of the initial rotor position for determining the initial position of the rotor, which corresponds 40 to the position at the moment of power up the detector, and setting the detector in the corresponding initial position.

Before power on, the rotor's position 45 transducer is set to an initial position, in which position 1 (one) is set at the inverting output of the trigger (the output of the transducer), while 0 (zero) is set at the main output. This

settings are made by supplying a short-time unblocking pulse to a reset input of the trigger. The unblocking pulse is supplied by means of switch 10, which is switched on for a short time and then switched off until the transducer starts operation. Alternatively, the switch 10 can be substituted for the short-term button, or an automatic locking and unlocking contact 10 can be used before switching on the transducer.

The switching signals corresponding to the rotor's position are generated as follows. 60 A high frequency measuring voltage (FIG. 2a) provided by the high frequency generator 7 through a respective amplitude current demodulator 12 and bandwidth filter 11 is supplied to a phase of stator's coil of the armature 1 of the synchronous motor. The said measuring voltage generates in the circuit comprised of: high-frequency generator - amplitude current demodulator - bandwidth filter - armature coil, a high- 65 frequency measuring current (FIG. 2b), which is amplitude modulated by machine polar system with respect to the position of the rotor (FIG. 2c). The minimum amplitude of the modulated current corresponds to the 70 position in which the axis of the rotor's coil coincides with the pole axis (respectively, angles  $\gamma = \pi/2; 3\pi/2$  in FIGs. 2c, 3c), and the maximum amplitude corresponds to the 75 position in which axis's are shifted by electric angle  $\pi/2$  ( $\gamma = 0, \pi, 2\pi$ ). Further, this high frequency current is demodulated by the 80 current amplitude demodulator 12: first, it is rectified (FIG.2r), then, transformed into voltage and smoothed (FIG. 2d). For this purpose, a resistor is provided in the current circuit of the demodulator, and further, a condenser is connected in parallel to the resistor; the condenser voltage being the output voltage of the demodulator. From the 85 demodulated voltage (FIG. 2d), signals are separated defining the rotor position. For this purpose, voltage from the output of the demodulator is supplied to the input of the controllable comparator 13, where it is compared with the voltage of the reference- 90 95

voltage source 8 supplied to the second input of the controllable comparator. At the moments of time, when the demodulated voltage exceeds the controlling reference voltage, the controllable comparator output produces a signal which is supplied to the trigger's input to switch it in accordance with the rotor position (FIG. 2 $\kappa$ , u).

As shows the diagram in FIG. 2, if the level of the controlling voltage is set approximately equal to the maximum value of the demodulated voltage but somewhat lower, then the switching signal appears in the moments of time corresponding to the moments in which the pole axis passes the midpoint wire. Sometimes, it is required that the rotor's position transducer output signal is produced with a certain advance relative to the moment of the passage of the neutral. In such cases, the control voltage level shall be decreased relative to the maximum of demodulated voltage. The duration of the signal at the output of the comparator is longer (FIG. 2e), so that the rising edge of this signal moves to the left towards advance, and this edge switches the trigger. The output signals of the transducer also move to the left towards advance. To produce signals with a delay behind the moment of the passage of neutral, either triggers are used which are switched by the falling edge of the input impulse fed to the trigger input, or the output signal from the comparator (FIG. 2e) shall be inverted before feeding to the trigger's input.

At that, the trigger's switch moment corresponds to the falling edge of the signal  $U_{13}$ . The moment when trigger switches, and consequently, the shift of the output signals of the transducer can be monitored in wide range by changing the reference voltage.

The detector of the initial rotor position operates as follows. The initial position of the rotor is detected on power up the excitation. Let the positive polarity pole at this moment of time be in the pole pitch of the stator's phase A (left FIG. 3). At the moment of time  $t_1$ , when the excitation has been switched on,

the rotor is still and corresponds to the angle position  $\gamma_1$  ( $0 < \gamma < \pi$ ), FIG. 36.

When the excitation is on and the direct voltage is applied to the inductor's coil (FIG. 3a), the voltage impulse (FIG. 3n) induced in the stator's coil has a sharp rise-up portion and smooth falling edge. If rotor's angular position is in the rage of  $0 < \gamma < \pi$ , then the initial portion of the impulse is positive (left part of FIG. 3), that is used to set the transducer into initial position using elements 9, 14, 16. The impulse induced in the stator coil is supplied to the comparator input 14, where it is transformed into a single amplitude rectangular pulse, which coincides in width with the positive portion of induced impulse (FIG. 3r). For this purpose, the level of the base voltage is set close to zero toward positive value. At the moment of power up the excitation by means of auxiliary contact of switch 4, the univibrator 9 switches on, at the output of which a single rectangular voltage pulse of a unit amplitude and fixed width is generated (FIG. 3d). The width of this pulse is set to be less than the width of the pulse from comparator's output (FIG. 3r). If the axis of the rotor pole at the moment of power up the excitation is within the angular range  $0 < \gamma < \pi$  (the arrow of the rotor's pole axis in the upper semiplane, FIG. 36, on the left), then the comparator's output impulses (FIG. 3r) and the univibrator's output impulses (FIG. 3d) coincides, and when applied to AND element 16, cause an impulse to be generated at its output (Fig. 3e, on the left), which, when applied to the trigger's adjusting input, switches it so that the triggers output gives "one" (FIG. 3u, on the left). Further, supplying impulses from the output of the controllable comparator 13 to the trigger 15 complementing input, the trigger is sequentially flipped from one adjusted position to another and backwards (FIG. 3n).

As follows from the diagram in the left part of FIG. 3, a signal ("one") at the main output of the trigger corresponds to the rotor angular position  $0 < \gamma < \pi$ , i.e. to the positive values of  $\sin \gamma$  function. If polar axis of the

- rotor at the moment of switching on the excitation is within the angular domain  $\pi < \gamma < 2\pi$  (the arrow of the rotor's pole axis in the lower semiplane, FIG. 36, on the right), for example, at the moment  $t_2$ , on power on, the rotor is still and in position  $\gamma_2$ , then the initial portion of induced impulse is negative (FIG. 3a). At this moment, at the output of the comparator 14 a signal appears (FIG. 3r, on the right) caused by the falling edge of the impulse moving to positive domain. In this case the output signal  $U_{14}$  of the comparator mismatch the univibrator's output signal  $U_9$  (since the signal duration  $U_9$  less than initial portion of the induced impulse).
- Consequently, no impulse is generated at the output of AND element, and the trigger maintains same position it has before power on the transducer, when the "one" is set at the trigger's inverting output, i.e., when there is no signal (or "zero" signal, FIG. 3u, on the right) at the main output. Further, similarly, impulses at the comparator output switch the trigger. As follows from the diagram in the right part of FIG. 3, in this case the trigger's master output (FIG. 3u) signal ("one") corresponds to rotor's angular position  $0 < \gamma < \pi$  i.e. positive value of the  $\sin \gamma$  function.
- The transformer 17 is provided for adjustment of the impulse's voltage level induced by excitation to the circuit output voltage. Normally opened 18 and normally closed 19 contacts of the additional switch operate as follows. In the initial moment, on power on the excitation voltage, the rotor's position detector shall be switched on. Therefore, the detector circuit is closed by normally closed contact 18. After the rotor excitation and when the transducer is set in the initial position, the switch should be switched to disconnect the detector circuit from the stator's coil. After this, the current from the source can be supplied to the stator's coil. This excludes the possibility of relatively high operating voltage to be supplied to the low voltage detector circuit. The switch circuit should start operating after the rotor's position is identified and the transducer is set into the initial position. This is effected by switching
- 50 the contacts: normally closed contact 18 is open, and normally open contact is closed. This switch can be executed automatically immediately after switching the excitation on by switch 4. The realisation of the apparatus provides controlling a synchronous machine in the electronic motor mode or as asynchronous synchronous machine, including brushless excitation systems, not using separate rotor position transducers and not changing design of the machine for the rotor's position transducer installation.

## CLAIMS

- A transducer of rotor position in the electric machine, comprising a high frequency generator having an output connected in parallel to each phase of an armature coil through a corresponding measuring channel, the channel comprising a bandwidth filter 65 and a controllable comparator, a current meter having an output connected to the input of the controllable comparator, the second input of said comparator being connected to the output of the reference voltage source, characterised in that, to extend the functional possibilities, the transducer further comprises a univibrator, an excitation switch having normally open auxiliary contact, each 70 measuring channel is provided with a comparator, AND logical element and output trigger; wherein in each measuring channel the output of the controllable comparator is connected to the complementing input of the trigger, the trigger's adjusting input is connected to the output of AND element, one input of AND element is connected to the comparator output, the input of the comparator is 75 connected to the armature's coil, the other input of AND element being connected to the univibrator output, the input of the univibrator is connected through normally open auxiliary contact of the excitation switch to the power supply, and each trigger's reset input is connected to the reset tumbler.



СОЮЗ СОВЕТСКИХ  
СОЦИАЛИСТИЧЕСКИХ  
РЕСПУБЛИК

(19) SU (11) 1458946 A1

(50) 4 Н 02 К 29/06

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ  
ПО ИЗОБРЕТЕНИЯМ И ОТКРЫТИЯМ  
ПРИ ГНТ СССР

SENSOR OF THE POSITION  
OF ROTOR OF ELECTRICAL  
MACHINE

# ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ

## К АВТОРСКОМУ СВИДЕТЕЛЬСТВУ

(21) 4167955/24-07

(22) 25.12.86

(46) 15.02.89. Бюл. № 6

(71) Всесоюзный научно-исследовательский институт электромашиностроения и Ереванский политехнический институт им. К.Маркса

(72) И.Е.Обынников, Ж.Д.Давидян, В.Н.Рябов и Е.А.Крутиков

(53) 621.313.292(088.8)

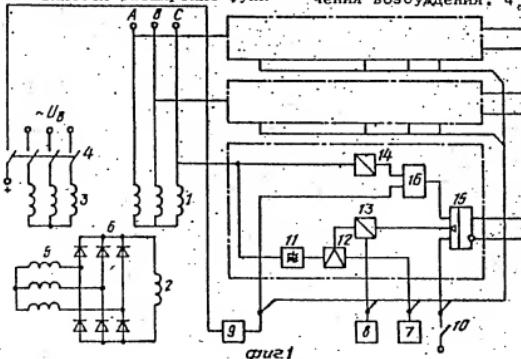
(56) Авторское свидетельство СССР № 921006, кл. Н 02 Р 1/50, 1981.

Авторское свидетельство СССР № 392327, кл. Н 02 К 29/06, 1968.

(54) ДАТЧИК ПОЛОЖЕНИЯ РОТОРА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ МАШИНЫ

(57) Изобретение относится к электротехнике и может быть использовано в вентильтом электроприводе, системах управления электрических машин, в вентильных двигателях и асинхронизированных синхронных машинах. Целью изобретения является расширение функциональных возможностей.

В датчике используется выключатель 4 в цепи возбуждения машины. Введены генератор 7 высокой частоты, источник 8 опорного напряжения, одновibrator 9 и выключатель 10 сброса. В каждую фазу введены полосовой фильтр 11, амплитудный демодулятор 12 тока, управляемый компаратор 13, компаратор 14, триггер 15 и элемент совпадения 16. В каждой фазе статорной обмотки пропускается измерительный ток высокой частоты, который модулируется по амплитуде полосной системой машины. Из этого тока выделяются модулирующие сигналы, которые преобразуются в выходные сигналы датчика положения ротора. Датчик приводится в исходное положение, соответствующее исходному положению ротора в момент включения, сигналом, наведенным в статорной обмотке, в момент включения возбуждения. 4 ил.



фиг1

ПАТЕНТНЫЙ

(19) SU (11) 1458946 A1

и вырабатывания соответствующих сигналов переключения и выходных сигналов. Группа элементов 9, 10, 14, 16 представляет собой определитель начального положения ротора, который предназначен для определения начального положения ротора, которое он занимает в момент включения датчика, и приведения датчика в соответствующее начальное положение.

Перед включением датчиком положения ротора устанавливается в исходное состояние, когда на инверсном выходе триггера 15 (на выходе датчика) устанавливается единица, а на основном выходе - нуль. Эта установка выполняется подачей на вход сброса триггера кратковременного установочного импульса. Установочный импульс подается посредством выключателя 10, который кратковременно включается, а затем отключается, до включения датчика в работу. Вместо выключателя 10 может быть использована кнопка для кратковременного нажатия, а также может быть предусмотрено автоматическое замыкание и размыкание контакта 10 перед включением датчика.

Сигналы переключения в соответствии с положением ротора вырабатываются следующим образом. Измерительное напряжение высокой частоты (фиг.2а) от генератора 7 высокой частоты через соответствующие амплитудный демодулятор 12 тока и полосовой фильтр 11 прикладывается к фазе статорной обмотки 1 якоря синхронного двигателя. Это измерительное напряжение выывает в цепи: генератор высокой частоты - амплитудный демодулятор тока - полосовой фильтр - обмотка якоря измерительный ток высокой частоты (фиг.2в), который, модулирован по амплитуде полосной системой машины в соответствии с положением ротора (фиг.2б). Минимальная амплитуда модулированного стока соответствует совпадению осей обмотки статора и полюса (соответственно на фиг.2б, 36 угол  $\varphi = \pi/2; 3\pi/2$ ), а максимальная амплитуда - сдвиг осей на электрический угол  $\pi/2$  ( $\varphi = 0, \pi, 2\pi$ ). Далее этот ток высокой частоты демодулируется в амплитудном демодуляторе 12 тока: сначала выпрямляется (фиг.2г), потом преобразуется в напряжение и сглаживается (фиг.2д). Для этого в демодуляторе в цепи тока имеется резистор,

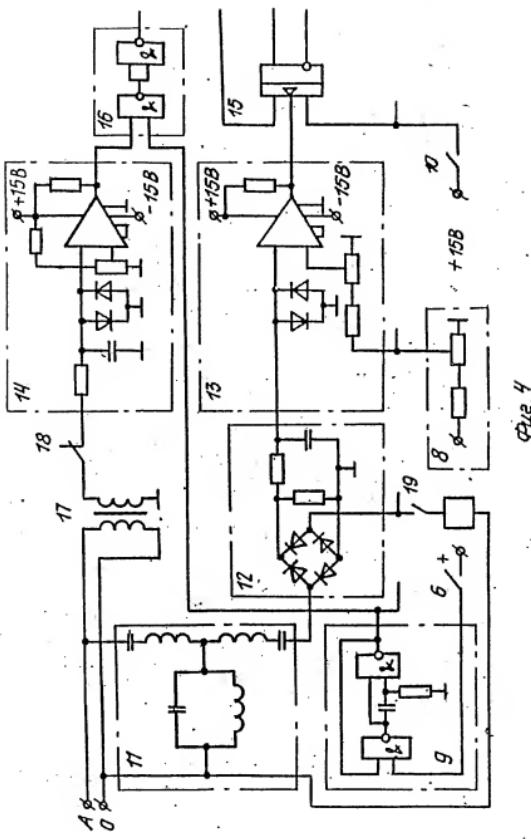
параллельно которому подключен конденсатор; напряжение на конденсаторе представляет собой выходное напряжение демодулятора. Из демодулированного напряжения (фиг.2д) выделяются сигналы, определяющие положение ротора. Для этого напряжение с выхода демодулятора подается на вход управляемого компаратора 13, где сравнивается с напряжением источника 18 опорного напряжения, поданным на второй вход управляемого компаратора. В моменты времени, когда демодулированное напряжение превосходит управляемое опорное напряжение, на выходе управляемого компаратора вырабатывается сигнал (фиг.2д, е), который подается на вход триггера и переключает его 20 в соответствии с положением ротора (фиг.2ж, и).

Как следует из диаграммы фиг.2, если уровень управляющего напряжения выбран примерно равным максимальному значению демодулированного напряжения, но несколько ниже, то переключающий сигнал приходится на моменты времени, соответствующие моменту прохождения нейтрали осью полюса. Иногда бывает необходимо, чтобы сигнал с выхода датчика положения ротора вырабатывался с некоторым опережением относительно момента прохождения нейтрали. В этих случаях уровень управляющего напряжения должен быть уменьшен относительно максимума демодулированного напряжения. Длительность сигнала на выходе компаратора (фиг.2е) больше, передний фронт этого сигнала смешается влево, в сторону опережения, и этим фронтом переключается триггер. Смещаются влево, в сторону опережения, и выходные сигналы датчика. Если необходимо вырабатывать сигналы с отставанием от момента прохождения нейтрали, то либо используются триггеры, переключающиеся задним фронтом импульса, поданным на его вход, либо сигнал с выхода компаратора (фиг.2е) сначала инвертируют, а потом подают на вход триггера. При этом момент переключения триггера соответствует заднему фронту сигнала  $U_B$ . Момент переключений триггера и, следовательно, сдвиг выходных сигналов датчика может плавно регулироваться в широких пределах посредством изменения уровня опорного напряжения.

нормально замкнутым контактом 18. После включения возбуждения ротора и установки датчика в исходное начальное положение выключатель должен переключаться и отключить схему определителя от обмотки статора. После этого на обмотку статора может быть подано напряжение от источника питания. За счет этого исключается возможность попадания относительно высокого рабочего напряжения статора на низковольтную электронную схему определителя. Схема переключения должна включаться в работу после определения начального положения ротора и установки датчика в исходное положение. Это выполняется переключением контактов выключателя: нормально замкнутый контакт 18 размыкается, а нормально открытый контакт 19 замыкается. Переключение может быть выполнено автоматически непосредственно после включения возбуждения выключателем 4.

Реализация устройства дает возможность управлять синхронной машиной в режиме вентильного двигателя или асинхронизированной синхронной машины, в том числе с бесщеточными системами возбуждения, без использования специальных датчиков положения ротора и без изменения конструкции машины для установки датчика положения ротора.

**Ф о�мула изобретения**  
**Датчик положения ротора электрической машины с электромагнитным возбуждением, содержащий генератор повышенной частоты, выход которого подключен параллельно каждой из фаз обмотки якоря через соответствующий измерительный канал, включающий в себя полосовой фильтр и управляемый компаратор, измеритель тока, выход которого соединен с входом управляемого компаратора, второй вход которого соединен с выходом источника опорного напряжения, о т л и ч а ю -  
 5 и с я тем, что, с целью расширения функциональных возможностей, он снабжен одновибратором, выключателем возбуждения с нормально открытым блок-контактом, каждый измерительный канал снабжен компаратором, логическим элементом И и выходным триггером, в каждом измерительном канале выход управляемого компаратора  
 10 соединен со счетным входом триггера, установочный вход триггера соединен с выходом элемента И, один вход элемента И соединен с выходом компаратора, вход которого соединен с обмоткой якоря, другой вход элемента И  
 15 соединен с выходом одновибратора, вход которого через нормально открытым блок-контакт выключателя возбуждения соединен с источником питания, а вход сброса каждого триггера соединен с выключателем сброса.**



Редактор И. Рыбченко

Составитель А. Санталов  
Техред Л. Сердюкова Корректор Н. Король

Заказ 376/57

Тираж 645

Подписано

НИИПИ Государственного комитета по изобретениям и открытиям при ГКНТ СССР  
113035, Москва, ж-35, Раушская наб., д. 4/5

Производственно-полиграфическое предприятие, г. Ужгород, ул. Проектная, 4